



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 198 05 455 A 1**

⑤1 Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**H 01 F 7/121**  
H 01 F 7/18

②1 Aktenzeichen: 198 05 455.6  
②2 Anmeldetag: 11. 2. 98  
④3 Offenlegungstag: 3. 9. 98

DE 198 05 455 A 1

⑥6 Innere Priorität:  
297 03 585. 1      28. 02. 97

⑦1 Anmelder:  
FEV Motorentechnik GmbH & Co. KG, 52078  
Aachen, DE

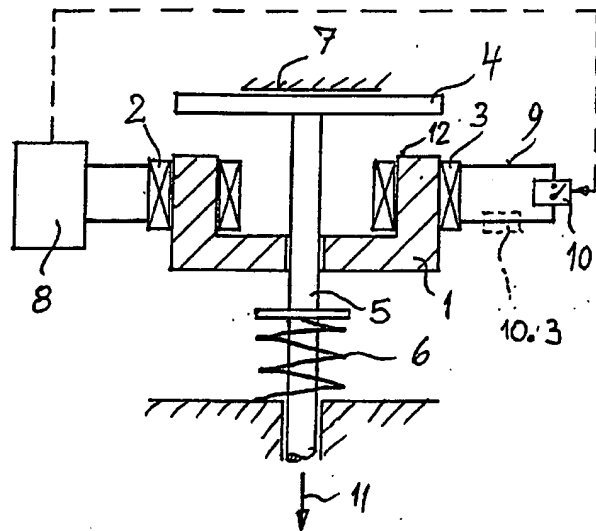
⑦4 Vertreter:  
Patentanwälte Maxton & Langmaack, 50968 Köln

⑦2 Erfinder:  
Pischiner, Martin, Dr.-Ing., 52072 Aachen, DE

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

⑤4 Elektromagnetischer Aktuator mit magnetischer Auftreffdämpfung

⑤7 Die Erfindung betrifft einen elektromagnetischen Aktuator mit wenigstens einem Elektromagneten, an dessen Joch (1) eine mit einer steuerbaren Stromversorgung (8) verbundene Arbeitsspule (2) sowie eine Bremsspule (3) angeordnet ist, die einen in sich geschlossenen Stromkreis bildet, der durch ein ansteuerbares Schaltelement (10) geöffnet und geschlossen werden kann, sowie ferner mit einem Anker (4), der mit einem zu betätigenden Stellglied in Verbindung steht und der bei Bestromung der Arbeitsspule (2) gegen die Kraft wenigstens einer Rückstellfeder (6) aus einer ersten Schaltstellung in Richtung auf die Polfläche des Elektromagneten in eine durch die Anlage des Ankers (4) der Polfläche (12) definierte zweite Schaltstellung bewegbar geführt ist.



DE 198 05 455 A 1

Elektromagnetische Aktuatoren, die im wesentlichen aus wenigstens einem Elektromagneten und einem mit dem zu betätigenden Stellglied verbundenen Anker bestehen, der bei einer Bestromung des Elektromagneten gegen die Kraft einer Rückstellfeder bewegbar ist, weisen sich durch eine hohe Schaltgeschwindigkeit aus. Ein Problem ist jedoch dadurch gegeben, daß bei der Annäherung des Ankers mit abnehmendem Abstand zur Polfläche des Elektromagneten die auf den Anker einwirkende Magnetkraft anwächst, so daß der Anker mit einer hohen Geschwindigkeit auf die Polfläche auftrifft. Neben der Geräuschentwicklung kann es hierbei zu Prellvorgängen kommen, d. h. der Anker trifft zunächst auf der Polfläche auf, hebt dann aber zumindest kurzfristig ab, bis er endlich vollständig zur Anlage kommt. Hierdurch kann es zu Beeinträchtigungen der Funktion des Stellgliedes kommen, was insbesondere bei Aktuatoren mit hoher Schaltfrequenz zu erheblichen Störungen führen kann.

Es ist daher wünschenswert, wenn die Auftreffgeschwindigkeiten in der Größenordnung von 0,01 bis 0,2 m/s liegen. Wichtig ist es hierbei, daß derart kleine Auftreffgeschwindigkeiten auch unter realen Betriebsbedingungen mit allen damit verbundenen stochastischen Schwankungen sicherzustellen sind. Störeinflüsse von außen, beispielsweise Erschütterungen oder dergleichen können in der letzten Annäherungsphase oder aber noch nach dem Anlegen an der Polfläche zu einem plötzlichen Abfallen führen.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, bei einem elektromagnetischen Aktuator der vorstehend bezeichneten Art, den Anker mit geringer Auftreffgeschwindigkeit an seinen Sitz an der Polfläche heranzuführen, wobei jedoch eine ausreichende Haltekraft nach dem Auftreffen des Ankers auf der Polfläche gegeben sein muß.

Diese Aufgabe wird gemäß der Erfindung gelöst, mit einem elektromagnetischen Aktuator mit wenigstens einem Elektromagneten, an dessen Joch eine mit einer steuerbaren Stromversorgung verbundene Arbeitsspule und eine Bremsspule angeordnet ist, die einen in sich geschlossenen Stromkreis bildet, der durch einen ansteuerbaren Schalter geöffnet und geschlossen werden kann, sowie mit einem Anker, der mit einem zu betätigenden Stellglied in Verbindung steht und der bei Bestromung der Arbeitsspule gegen die Kraft wenigstens einer Rückstellfeder aus einer ersten Schaltstellung in Richtung auf die Polfläche in eine durch die Anlage des Ankers an der Polfläche definierte zweite Schaltstellung bewegbar geführt ist.

Bei einer Veränderung des magnetischen Flusses im Elektromagneten wird in der Bremsspule eine Spannung induziert. Eine derartige Veränderung des magnetischen Flusses ergibt sich, wenn in der Arbeitsspule ein vorzugsweise konstanter Strom fließt, bei einer Bewegung des Ankers zwar sowohl bei seiner Annäherung an die Polfläche wie auch bei seiner Entfernung von der Polfläche. Die Änderung des Magnetflusses ist bei einer Bestromung der Arbeitsspule mit einem konstanten Strom von der Geschwindigkeit und von der Entfernung des Ankers von der Polfläche abhängig, und zwar in der Weise, daß bei einer Annäherung des Ankers an die Polfläche der magnetische Fluß größer wird und bei einer Entfernung des Ankers von der Polfläche der magnetische Fluß kleiner wird. Wird nun der Schalter im Schaltkreis des Bremsmagneten geschlossen, so kann in diesem Stromkreis ein Strom fließen, der die Änderung des magnetischen Flusses verringert. Da der magnetische Fluß ein Maß für die Kraft ist, die auf den Anker ausgeübt wird, kann somit bei Annäherung des Ankers an die Polfläche des Magneten die Kraftzunahme verringert werden, und zwar in Ab-

hängigkeit von der Annäherungsgeschwindigkeit. Der Einfluß der Geschwindigkeit des Ankers auf die Flußänderung ist größer, je kleiner die Entfernung des Ankers von der Polfläche des Magneten ist. Damit ist eine Möglichkeit gegeben, die Auftreffgeschwindigkeit des Ankers auf die Polfläche zu vermindern, da insbesondere die Bewegungsgeschwindigkeit des Ankers im Bereich kleiner Abstände von der Polfläche von Bedeutung ist. Da nach dem Auftreffen des Ankers der Strom im Stromkreis der Bremsspule auf Null zurückgeht, wirkt entsprechend anwachsend auf den Anker wiederum die durch die Bestromung der Arbeitsspule vorgegebene volle Magnetkraft als Haltekraft ein. Durch eine entsprechende Ansteuerung des Schalters im Stromkreis der Bremsspule in die Schließstellung kann der Zeitpunkt vorgegeben werden, ab wann die Gegenwirkung der Bremsspule auf den Anker einwirken soll. Durch eine Ansteuerung in die Öffnungsstellung kann sehr schnell die volle Haltekraft der Arbeitsspule wirksam werden.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist ein Sensor vorgesehen, der die Annäherung des Ankers an die Polfläche erfaßt und der mit einer Steuereinrichtung für den Schalter in Verbindung steht. Für die Betätigung des Schalters können Sensoren in den unterschiedlichsten Funktionsmerkmalen eingesetzt werden. Dementsprechend eignen sich hierzu ein dem Anker zugeordneter Bewegungssensor oder auch ein Positionssensor, die beispielsweise über elektroinduktive Mittel den Vorbeiflug des Ankers erfassen und ein entsprechendes Steuersignal für die Steuereinrichtung des Schalters auslösen. Damit ist gewährleistet, daß unabhängig von der Fluggeschwindigkeit des Ankers über die Ankerposition die Bremsspule eingeschaltet wird.

Als Sensoren im Sinne der Erfindung gelten aber auch Mittel, mit denen die Größe des Stroms bei der Bestromung der Arbeitsspule erfaßt werden. Damit ist es möglich, das Steuersignal zum Schließen des Schalters im Stromkreis der Bremsspule zu einem Zeitpunkt zu schließen, wenn der der Arbeitsspule zugeführte Strom eine vorgegebene Stromhöhe kurz vor dem zu erwartenden Zeitpunkt des Auftreffens des Ankers auf der Polfläche auf einem konstanten Niveau gehalten wird, kann auch zu diesem Zeitpunkt das Steuersignal an den Schalter im Stromkreis der Bremsspule abgegeben werden. Je nach den Einsatzfällen kann es zweckmäßig sein, den Auslösezeitpunkt für dieses Steuersignal um ein geringes Maß vorzuverlegen oder um ein geringes Maß nach hinten zu verschieben.

Die Erfindung wird anhand schematischer Zeichnungen von Ausführungsbeispielen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 einen elektromagnetischen Aktuator im Schnitt,

Fig. 2 schematisch den Stromverlauf in der Arbeitsspule,

Fig. 3 eine Ausführungsform mit zwei Elektromagneten.

Der in Fig. 1 in einer Prinzipzeichnung dargestellte elektromagnetische Aktuator besteht im wesentlichen aus einem Joch 1, das mit einer Arbeitsspule 2 und einer Bremsspule 3 gewickelt ist. Die Arbeitsspule 2 und Bremsspule 3 können um dasselbe Zentrum gewickelt sein, d. h. übereinander anliegend angeordnet sein. In der Prinzipdarstellung sind die beiden Spulen zum Zwecke der Erläuterung getrennt dargestellt.

Dem aus dem Joch 1 und den Spulen 2 und 3 gebildeten Elektromagneten ist ein Anker 4 zugeordnet, der über eine Führungstange 5 mit einem nicht näher dargestellten, zu betätigenden Stellglied in Verbindung steht. Über eine Rückstellfeder 6 wird der Anker 4 in einer durch einen Anschlag 7 oder ähnliche Begrenzungsmittel definierten ersten Schaltstellung gehalten, wenn der Elektromagnet nicht bestromt ist.

Die Arbeitsspule 2 ist mit einer steuerbaren Stromversorgung 8 verbunden, so daß die Arbeitsspule 2 entsprechend

den geforderten Betriebsbedingungen mit einem Strom beaufschlagt und stromlos gesetzt werden kann.

Die Bremsspule 3 ist mit einem in sich geschlossenen Stromkreis 9 verbunden, die ein ansteuerbares Schaltelement 10 aufweist. Der Schalter kann als mechanisches, elektronisches Schaltelement oder dergleichen ausgebildet sein und steht mit dem Steuerungsteil der Stromversorgung 8 in Verbindung.

Wird die Arbeitsspule 2 bestromt, dann wird durch die Magnetkräfte der Anker 4 gegen die Kraft der Rückstellfeder 6 in Richtung des Pfeiles 11 auf den Elektromagneten zubewegt, an dessen Polfläche 12 er schließlich in der zu erzielenden zweiten Schaltstellung zur Anlage kommt.

Durch die Annäherung des Ankers 4 an die Polfläche 12 des Elektromagneten wird der magnetische Fluß des Systems verändert, was insbesondere sich dann deutlich ausdrückt, wenn die Arbeitsspule 2 mit einem konstanten Strom beaufschlagt wird. Durch den sich ändernden magnetischen Fluß wird in der Bremsspule 3 eine Spannung erzeugt. Wird zu einem bestimmten, vorgebbaren Zeitpunkt das Schaltelement 10 geschlossen, dann fließt im Stromkreis 9 der Bremsspule 3 ein Strom, der die auf den Anker 4 wirkende Kraft in Abhängigkeit von dem Abstand des Ankers 4 zur Polfläche und seine Annäherungsgeschwindigkeit vermindert. Dadurch wird unter dem Einfluß der Gegenwirkung der Rückstellfeder 6 die Annäherungsgeschwindigkeit des Ankers 4 an die Polfläche 12 vermindert, so daß bei einer entsprechenden Auslegung der Bremsspule 3 mit ihrem Stromkreis 9, in der auch ggf. ein Verbraucher 10.3 angeordnet sein kann, die Auftreffgeschwindigkeit vermindert wird. Sobald der Anker 4 an der Polfläche 12 anliegt, also keine Veränderung des magnetischen Flusses mehr stattfindet, sinkt der Stromfluß im Stromkreis 9 auf Null, so daß bei unveränderter Bestromung der Arbeitsspule 2 der Anker 4 mit der vollen Haltekraft an der Polfläche 12 gegen die Rückstellkraft der Feder 6 gehalten wird. Wird die Bestromung der Arbeitsspule 2 abgeschaltet, so bewegt sich der Anker 4 wieder in die ursprüngliche Schaltstellung zurück.

In Fig. 2 ist schematisch ein von der Steuerung der Stromversorgung 8 vorgegebener Verlauf des durch die Arbeitsspule 2 fließenden Stromes dargestellt. Wie das Diagramm erkennen läßt, steigt während einer Zeit  $t_1$  der Strom bis auf eine vorgebbare Höhe  $I_{\max}$  an, wobei der vorgebbare Maximalstrom so bemessen ist, daß die erzeugte Magnetkraft ausreicht, den Anker 4 gegen die Kraft der Rückstellfeder 6 in Richtung auf die Polfläche 12 zu bewegen. Da die auf den Anker 4 einwirkende Kraft mit zunehmender Annäherung an die Polfläche 12 anwächst, kann ab dem Zeitpunkt  $T_1$  der zuzuführende Strom in seiner Höhe konstant gehalten werden, bis nach Ablauf einer vorgebbaren Zeit  $t_2$  bis zum vermuteten Auftreffen des Ankers auf der Polfläche 12 zum Zeitpunkt  $T_2$  der Anker und das damit verbundene Stellglied seine zweite Schaltstellung voraussichtlich mit Sicherheit erreicht hat.

Um den Anker 4 in dieser zweiten Schaltstellung über einen vorgebbaren Zeitraum  $t_H$  halten zu können, wird eine deutlich geringere Haltekraft benötigt, so daß ab dem Zeitpunkt  $T_2$  über die Steuerung der Stromversorgung 8 die Höhe des der Arbeitsspule 2 zugeführten Stromes auf Betrag  $I_{\min}$  reduziert und damit Energie eingespart werden kann. Bekannt ist es hierbei zur Verbesserung der Energieeinsparung den Strom während des Zeitraumes  $t_H$  zu takten, so wie dies im Diagramm dargestellt ist. Nach Ablauf der Haltezeit  $t_H$  wird die Stromzufuhr zur Arbeitsspule 2 am Zeitpunkt  $T_3$  abgeschaltet, so daß sich der Anker 4 unter der Einwirkung der Kraft der Rückstellfeder 6 in seine erste Schaltstellung zurückbewegt.

Wie aus dem Diagramm ersichtlich, wird die Bestromung

der Arbeitsspule 2 bereits zu einem Zeitpunkt auf die konstante Stromhöhe  $I_{\max}$  eingeregelt, zudem der Anker sich noch in seiner Bewegung in Richtung auf die Polfläche 12 befindet. Damit ergibt sich eine eindeutig von der Ankerbewegung und auch Ankerposition gegenüber der Polfläche 12 abhängige Änderung des magnetischen Flusses. Wird nun zu einem vorgebbaren Zeitpunkt  $T_4$  über ein entsprechendes Steuersignal das Schaltelement 10 geschlossen, dann wird aufgrund der durch die Annäherung des Ankers 4 bewirkte Änderung des magnetischen Flusses über den verbleibenden Restzeitraum  $t_4$  die bremsende Wirkung des Bremsmagneten 3 wirksam. Das Schaltelement 10 wird somit zeitabhängig, jeweils beginnend nach dem Einschalten der Bestromung des Arbeitsmagneten 2 zugeschaltet.

In Fig. 3 ist eine abgewandelte Ausführungsform eines elektromagnetischen Aktuators dargestellt, wie er beispielsweise zur Betätigung von Gaswechselventilen an Kolbenmotoren eingesetzt werden kann. Der Grundaufbau entspricht dem Aufbau gemäß Fig. 1, jedoch mit dem Unterschied, daß zwei Elektromagneten A und B mit Abstand zueinander so angeordnet sind, daß ihre Polflächen 12 gegeneinander gerichtet sind. Zwischen den beiden Elektromagneten A und B ist wiederum ein Anker 4 gegen die Kraft von Rückstellfedern 6.1 und 6.2 hin- und herbewegbar geführt. Bei stromlos gesetzten Elektromagneten befindet sich der Anker 4 in einer durch die Größe der gegeneinander wirkenden Rückstellfedern vorgebbaren Mittellage zwischen den beiden Elektromagneten A und B. Bei abwechselnder Bestromung der Elektromagneten liegt der Anker entsprechend der Bestromung einmal an der Polfläche 12 des Elektromagneten A, beispielsweise als erste Schaltstellung und anschließend an der Polfläche 12 des Elektromagneten B, beispielsweise als zweite Schaltstellung an. Je nach Einsatzfall kann auch die Zwischenstellung bei stromlos gesetzten Magneten eine zusätzliche Schaltstellung bilden.

Mit der Führungstange 5 steht beispielsweise ein Ventilkörper 13 eines Gaswechselventils an einem Hubkolbenmotor in Verbindung, so daß bei der Anlage des Ankers 4 am Elektromagneten A das Ventil in Schließstellung gehalten wird und bei Anlage am Elektromagneten B das Ventil in Öffnungsstellung gehalten wird. Die Rückstellfeder 6.2 wirkt hierbei als Öffnungsfeder, während die Rückstellfeder 6.1 als Schließfeder für das Ventil wirksam ist.

Die Arbeitsspulen 2.1 und 2.2 der beiden Elektromagneten A und B stehen wiederum mit einer steuerbaren Stromversorgung 8 in Verbindung, so daß entsprechend den, über eine hier nicht näher dargestellte Steuereinrichtung, vorgegebenen Betriebsbedingungen der Anker 4 zwischen den beiden Elektromagneten A und B hin- und herbewegt werden kann.

Die Bremsspulen 3.1 und 3.2 an den beiden Elektromagneten A und B sind jeweils über ein eigenes Schaltelement 10.1 und 10.2 als geschlossener Stromkreis 9.1 und 9.2 ausgebildet, der entsprechend einer durch die Steuereinrichtung zur Stromversorgung 8 oder aber über eine zusätzliche Steuereinrichtung in der Stromversorgung 8 geöffnet und geschlossen werden können.

Die Ansteuerung der Schaltelemente 10.1 und 10.2 erfolgt, wie vorstehend anhand von Fig. 1 und Fig. 2 beschrieben, so daß kurz vor dem Auftreffen des Ankers 4 auf der jeweiligen Polfläche 12 das Schaltelement geschlossen wird und die jeweilige Bremsspule aktiviert wird.

In Fig. 3 ist als weitere Möglichkeit zur Beeinflussung der Schaltstellung der Schaltelemente 10.1 und 10.2 die Anordnung von Sensoren 14.1 und 14.2 vorgesehen, die als Bewegungs- oder Positions-Sensoren ausgebildet sein können und über die jeweils die Annäherung des Ankers 4 an die zugehörige Polfläche 12 erfaßt wird und über eine Steuerung,

die beispielsweise in die Stromversorgung 8 integriert sein kann, jeweils die Schaltelemente 10.1 und 10.2 geschaltet werden können.

Anstelle der vorgeschriebenen beispielsweise magnetisch induktiv wirkenden Bewegungs- und/oder Positions-Sensoren 14, die auch bei der Ausführungsform gemäß Fig. 1 in entsprechender Positionierung zur Polfläche 12 angeordnet sein können, ist es auch möglich, dem Elektromagneten einen Sensor zuzuordnen, der die Änderung des magnetischen Flusses bei Annäherung des Ankers an die Polfläche erfäßt, so daß durch eine Änderung des magnetischen Flusses bei einem vorgebbaren Wert ein Steuersignal ausgelöst wird, durch das über das Schaltelement 10 der Stromkreis 9 geschlossen wird und die Wirkung der Bremsspule aktiviert wird.

Sowohl bei der anhand von Fig. 2 erläuterten Schalttechnik über den Verlauf der Bestromung der Arbeitsmagneten als auch bei der vorstehend anhand von Fig. 3 beschriebenen Schalttechnik über gesonderte Sensoren kann die Anordnung so getroffen werden, daß beim Rückgang des Stroms in geschlossenem Stromkreis 9 auf Null oder einen vorgegebenen darüberliegenden unteren Schwellenwert das Schaltelement 10 jeweils wieder geöffnet wird.

Die in Abhängigkeit von der Ankerbewegung in der Bremsspule 2 auftretenden Spannungsänderungen und/oder die bei geschlossenem Schaltelement 10 erfolgenden Stromänderungen können gleichzeitig zur Erkennung der Ankerbewegung gerade im Nahbereich genutzt werden. So kann beispielsweise das Absinken der Stromänderung im Stromkreis 9 auf Null als Erkennung für das Auftreffen des Ankers auf die Polfläche 12 dienen. Der während der Haltezeit  $t_H$  durch die Stromtaktung für die Arbeitsspule in der Bremsspule induzierte Spannungsverlauf (bei geschlossenem Schaltelement 10 auch der Stromverlauf) kann genutzt werden, um eine Auflageerkennung des Ankers an der Polfläche zu erhalten.

Hält man das Schaltelement 10 auch noch während der Haltezeit  $t_H$  (Fig. 2) geschlossen, dann kann ein Ansteigen des Stroms während oder am Ende dieser Haltezeit als Anzeige für das Loslösen des Ankers von der Polfläche 12 genutzt werden.

Nur der Vollständigkeit halber sei darauf hingewiesen, daß das in Fig. 2 dargestellte Stromverlaufdiagramm jeweils auch für die Elektromagneten 2.1 und 2.2 bei der Ausführungsform gemäß Fig. 3 gilt.

#### Patentansprüche

1. Elektromagnetischer Aktuator mit wenigstens einem Elektromagneten, an dessen Joch (1) eine mit einer steuerbaren Stromversorgung (8) verbundene Arbeitsspule (2) sowie eine Bremsspule (3) angeordnet ist, die einen in sich geschlossenen Stromkreis bildet, der durch ein ansteuerbares Schaltelement (10) geöffnet und geschlossen werden kann, sowie ferner mit einem Anker (4), der mit einem zu betätigendem Stellglied in Verbindung steht und der bei Bestromung der Arbeitsspule (2) gegen die Kraft wenigstens einer Rückstellfeder (6) aus einer ersten Schaltstellung in Richtung auf die Polfläche des Elektromagneten in eine durch die Anlage des Ankers (4) der Polfläche (12) definierte zweite Schaltstellung bewegbar geführt ist.
2. Aktuator nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens ein Sensor (14) vorgesehen ist, der die Annäherung des Ankers (4) an die Polfläche (12) und der mit einer Steuereinrichtung (8) für das Schaltelement (10) in Verbindung steht.
3. Aktuator nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekenn-

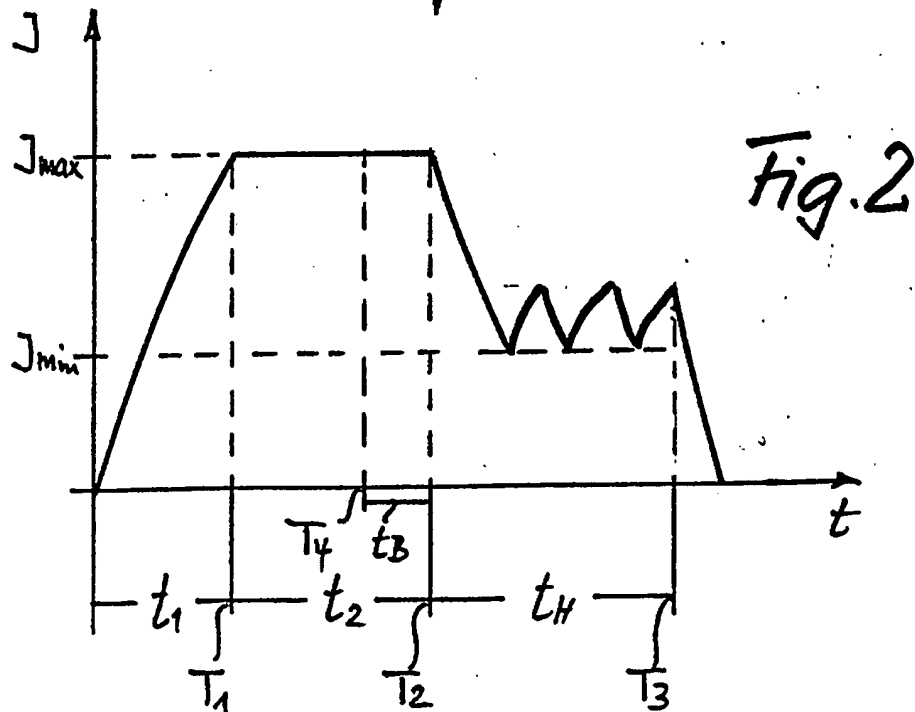
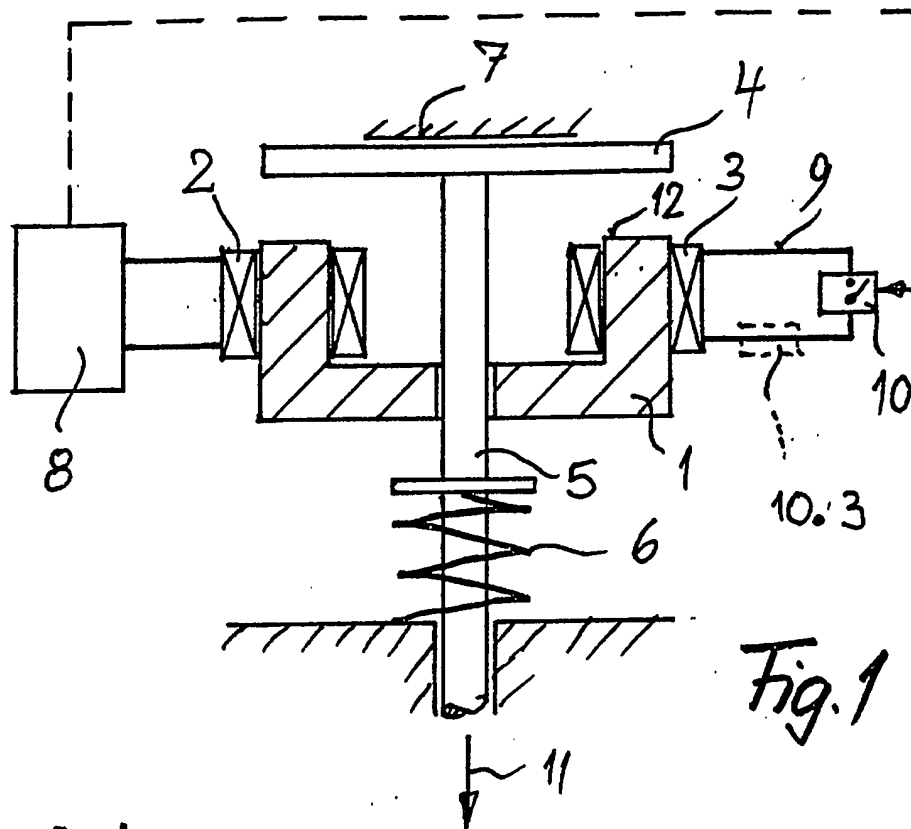
zeichnet, daß Mittel zur Erfassung der Höhe des der Arbeitsspule (2) zugeführten Stroms vorgesehen sind, die bei Erreichen einer vorgebbaren Stromhöhe das Schaltelement (10) im Stromkreis (9) der Bremsspule (3) schließen.

4. Aktuator nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß das Schaltelement (9) mit der Steuereinrichtung der Stromversorgung (8) in Verbindung steht.

---

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

---



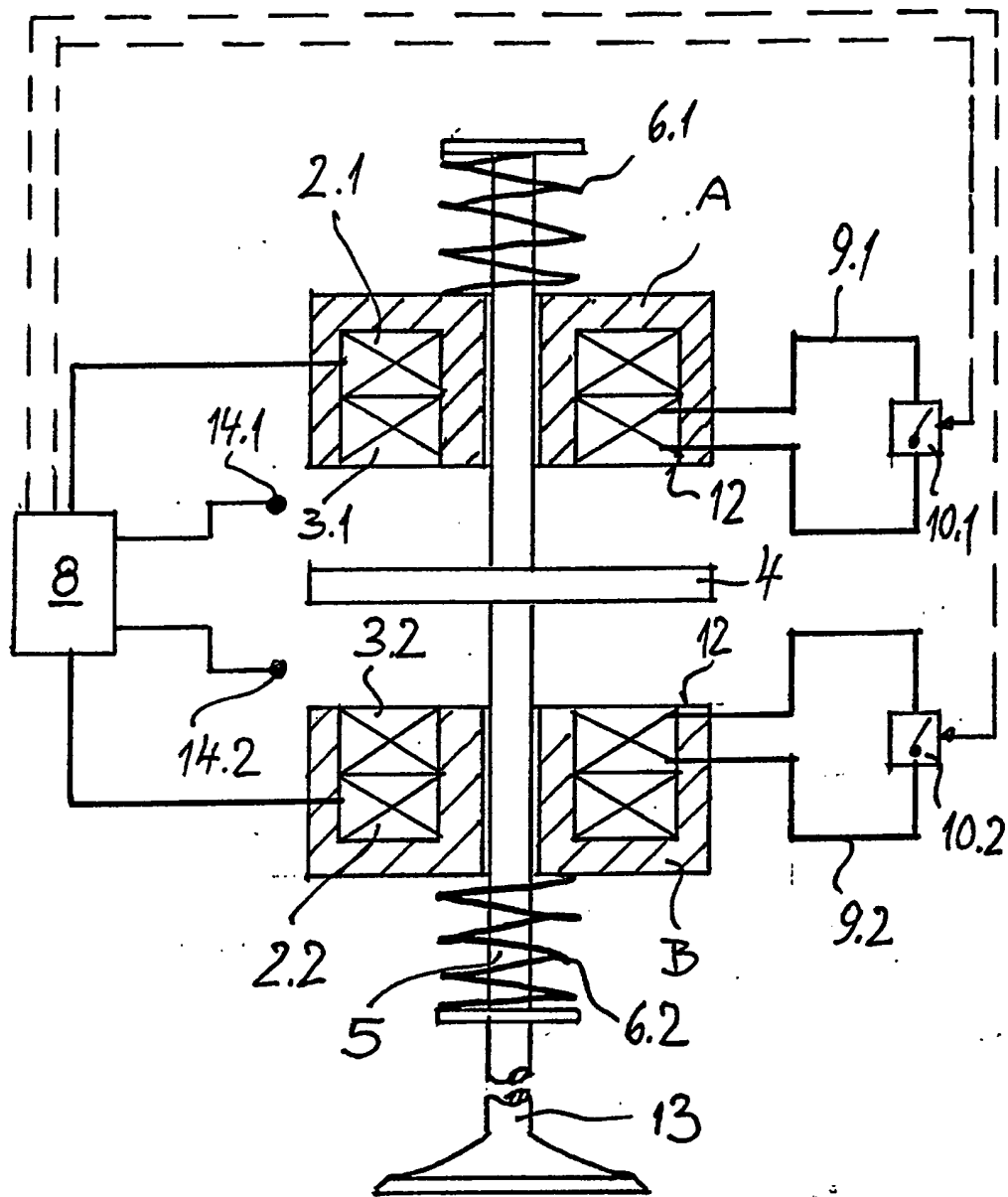


Fig. 3